

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

KOROZIVZDORNÉ OCELI PRO SOUČÁSTI PARNÍHO STERILIZÁTORU

STAINLESS STEEL FOR STEAM STERILIZER COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DAVID HRADIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. BOHUMIL PACAL, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Hradil

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Korozivzdorné oceli pro součásti parního sterilizátoru

v anglickém jazyce:

Stainless steel for steam sterilizer components

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést literární rešerši se zaměřením na vhodný výběr daných typů korozivzdorných ocelí, které budou splňovat podmínky práce exponovaných dílů v parním sterilizátoru

Cíle bakalářské práce:

Vypracování podrobné studie, ze které bude možno posoudit vliv provozních podmínek v daném zařízení na vybrané typy korozivzdorných ocelí.

Seznam odborné literatury:

- 1.FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T.: Konstruční oceli. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 1996, 267 s. ISBN 80-85867-95-8.
- 2.ČÍHAL, V.: Korozivzdorné oceli a slitiny. 1. vyd. Praha: Academia AV, 1999. 437s. ISBN 80-200-0671-0.
- 3.ROBERGE, R. PIEREE, Handbook of corrosion engineering, USA: McGraw-Hill,1999, 1129 s, ISBN 0-07-076516-2.
- 4.ČERNÝ, M. a kol., Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů, 1.vydání, Praha SNTL, 1984, 264 s, DT 620.193:669.018.
- 5.TULKA, J. Povrchové úpravy materiálů. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. 136 s. ISBN 80-214-3062-


Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Bohumil Pacal, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 26.11.2013




prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Práce s názvem „Korozivzdorné oceli pro součásti parního sterilizátoru“ je zaměřena na volbu optimální korozivzdorné oceli pro dané zařízení, v našem případě vyvíječe čisté páry. V práci jsou uvedeny hlavní mechanismy a druhy koroze. Jsou zde rozděleny a charakterizovány jednotlivé typy korozivzdorných ocelí. Volba materiálu je prováděna s přihlédnutím na pracovní prostředí a technologické možnosti jednotlivých typů korozivzdorných ocelí.

Klíčová slova

koroze, korozivzdorné oceli, parní sterilizátor, pracovní prostředí, volba materiálu

ABSTRACT

The thesis titled "Stainless steel for steam sterilizer components" is focused on the selection of the optimum stainless steel for the device, in our case, pure steam generator. In this thesis are introduced the main mechanisms and types of corrosion. There are divided and characterized by various types of stainless steels. The choice of material is carried out with regard to the working environment and the technological possibilities of the individual types of stainless steels.

Key words

corrosion, stainless steel, steam sterilizer, working environment, choice of material

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRADIL, D. *Korozivzdorné oceli pro součásti parního sterilizátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Bohumil Pacal, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Bohumila Pacala, CSc., s využitím uvedených pramenů a literatury.

V Brně dne 26. května 2014

.....
David Hradil

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Bohumilu Pacalovi, CSc., za cenné rady, komentáře a připomínky při tvorbě této práce.

OBSAH

1 Úvod.....	10
2 Koroze kovů	11
2.1 Chemická koroze.....	11
2.2 Elektrochemická koroze	12
2.3 Druhy korozního napadení	13
2.3.1 Rovnoměrná koroze.....	13
2.3.2 Nerovnoměrná koroze.....	14
2.3.2.1 Bodová koroze	14
2.3.2.2 Důlková koroze	15
2.3.2.3 Štěrbínová koroze	15
2.3.2.4 Mezikrystalická koroze	15
2.3.2.5 Další druhy napadání.....	16
3 Rozdělení a charakteristika korozivzdorných ocelí.....	18
3.1 Vliv legujících prvků na odolnost proti korozi.....	18
3.1.1 Chrom (Cr)	18
3.1.2 Nikl (Ni)	19
3.1.3 Molybden (Mo)	19
3.1.4 Mangan (Mn).....	19
3.1.5 Další legury	19
3.2 Chemické složení korozivzdorných oceli.....	20
3.2.1 Chromové oceli	20
3.2.1.1 Chromové oceli s 13 % Cr	20
3.2.1.2 Chromové oceli s 18 % Cr	21
3.2.1.3 Chromové oceli s 22 až 30 % Cr.....	21
3.2.2 Chrom-niklové oceli.....	22
3.2.2.1 Nestabilizované austenitické oceli	22
3.2.2.2 Stabilizované austenitické oceli	22
3.2.2.3 Austenitické oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku.....	23
3.2.2.4 Austenitické oceli s přísadou molybdenu	23
3.2.2.5 Austenitické oceli s přísadou molybdenu a mědi	23
3.2.3 Chrom-manganové oceli	23
3.2.3.1 Austenitické oceli typu Cr – Mn – Ni - N.....	24
3.2.3.2 Austenitické oceli typu Cr – Mn - N	24

3.3 Korozivzdorné oceli dle struktury.....	24
3.3.1 Martenzitická struktura	25
3.3.2 Feritická struktura.....	25
3.3.3 Austenitická struktura.....	26
3.3.4 Dvofázové struktury	26
3.3.5 Precipitačně vytvrditelné	26
3.4 Tepelné zpracování korozivzdorných ocelí.....	26
3.4.1 TZ martenzitických ocelí	27
3.4.2 TZ feritických ocelí	28
3.4.3 TZ austenitických ocelí.....	28
3.4.4 TZ dvofázových ocelí	28
3.4.5 TZ vytvrditelných ocelí	29
4 Technologické vlastnosti korozivzdorných ocelí	30
4.1 Svařitelnost.....	30
4.2 Tvářitelnost.....	30
4.2.1 Tváření za tepla	30
4.2.2 Tváření za studena	31
4.3 Obrobitelnost.....	31
4.4 Vliv kvality povrchu.....	31
5 Popis vyvíječe čisté páry (parního sterilizátoru) s deskovým výměníkem.....	32
6 Volba korozivzdorné oceli	34
6.1 Volba korozivzdorné oceli vzhledem k pracovnímu prostředí.....	34
6.1.1 Vodní pára	34
6.1.2 Voda.....	34
6.1.3 Atmosféra.....	35
6.2 Volba materiálů pro vyvíječ čisté páry	35
7 Závěr	37
Použité informační zdroje	38
Seznam použitých obrázků.....	40
Seznam příloh	40

1 Úvod

Kovy doprovází lidskou populaci již mnoho tisíc let. Na počátku našeho letopočtu bylo známo nejméně sedm kovů (Fe, Cu, Sn, Pb, Hg, Ag, Au) a největší rozvoj zpracování kovů, zejména slitin a různých druhů ocelí, počal začátkem 20. století. Tento vývoj s sebou nesl i mnoho otázek, jak kovy využívat, a zároveň, jak předcházet jejich degradaci a tím zvyšovat jejich životnost. [9]

Jedním z hlavních faktorů degradace kovu je koroze, kterou lze jednoduše popsat jako chemické či elektrochemické rozrušování složek materiálů. Fyzikální opodstatnění koroze vedlo k následným pokusům o vývoj nového materiálu, jenž by korozi odolával. Již roku 1872 byl zaveden název korozivzdorná ocel pro ocel dobře odolávající korozi. V dnešní době je k dispozici nepřehledná škála možností a využití těchto materiálů, jež jsou schopny odolávat všem možným typům korozního napadení. [3, 4]

První část této práce bude věnována pojmu koroze a jeho základním principům. Na ní bude navazovat oddíl zaměřený na základní druhy koroze, v němž budou detailně popsány zejména druhy napadení, jež mohou s nejvyšší pravděpodobností nastat u korozivzdorných ocelí, zvláště pak mezikrystalová koroze. Stěžejní kapitolou práce bude rozdělení a charakteristika korozivzdorných ocelí a následná volba ideální oceli pro součásti parního sterilizátoru. V tomto případě bude práce zaměřena na vyvíječ čisté páry, jehož schéma bude v práci detailně popsáno. Při volbě vhodného materiálu budu vycházet zejména z pracovního prostředí a technologických možností, jež budou v práci též uvedeny. V závěru bude vybrána adekvátní korozivzdorná ocel a její případné alternativy.

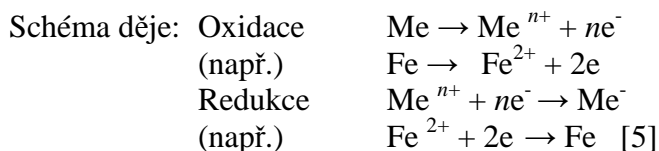
2 Koroze kovů

Pojmem koroze kovů rozumíme chemické či elektrochemické porušování původních složek materiálu, které vede k poškození jak fyzikálních, tak mechanických vlastností materiálu. Koroze probíhá převážně vzájemným kontaktem materiálu s kapalnými nebo plynými látkami. V ojedinělých případech lze za korozi považovat i fyzikální rozpouštění či odpařování. Korozi nepodléhají pouze kovy, lze ji pozorovat i u plastů či materiálů používaných ve stavebnictví.[3,1]

Prostředí, ve kterém se koroze iniciuje, není jednotvárné. Mezi nejčastější korozní prostředí lze považovat zemskou atmosféru, různé druhy zemských půd, vodní ekosystémy (zejména mořskou vodu), betony, průmyslové elektrolyty či organické látky. Odolnost materiálu vůči korozi je daná nejen podmínkami vnějšími, ale i vlastním obsahem legujících prvků obsažených v kovech a slitinách. [4, 9]

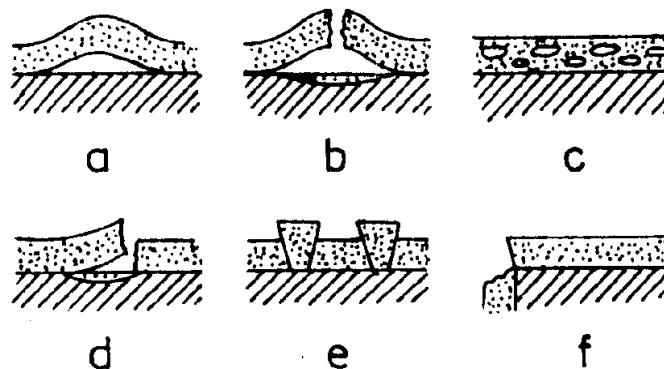
2.1 Chemická koroze

Chemická koroze je v podstatě chemická reakce mezi povrchem materiálu a daným elektricky nevodivým prostředím (plyny, kapaliny) za normálních, ale hlavně za vysokých teplot a tlaků. Korozní děje probíhají interakcí povrchu s oxidačně (kyslík, vzduch, oxid uhličitý, oxid sírový, oxid siřičitý, halogeny apod.) či redukčně působícím plynem (vodík, metan, amoniak a směsi na bázi vodíku). Oxidační plyny vytváří na povrchu vrstvu korozních zplodin, tvořenou převážně iontovými sloučeninami. Při tomto ději probíhá oxidace, tj. reagující látka (prvek - Me) ztrácí valenční elektrony. Redukční plyny buďto reagují s povrchem, případně pronikají do kovů a rozpouští se v nich za současného vzniku kovalentních sloučenin. Redukci rozumíme děj, při kterém látka (Me) přibírá cizí valenční elektrony.[5]



Kinetika korozního procesu je určena Pillingovým - Bedworthovým pravidlem (PB), které je vyjádřeno poměrem mezi molárním objemem korozních zplodin (V_M) a atomovým objemem kovu (V). „Pokud je poměr V_M/V menší než jedna, pak vrstva korozních zplodin nestačí pokrýt povrch kovu, reagující plyn má k povrchu trvalý přístup a vznikající vrstva nemá žádné ochranné vlastnosti. Je-li naopak poměr V_M/V větší než jedna, pak vzniklá vrstva může (ale nemusí) mít ochranný charakter.“ [5 str. 309] Při vysokých hodnotách PB čísla dochází k popraskání oxidické vrstvy, ochranný charakter je potlačen. [5]

Příklady Pillingova – Betworthova čísla (kov-oxid-PB číslo): Al Al_2O_3 1,28
Fe Fe_2O_3 2,14
Cr Cr_2O_3 2,07 [4]



Obr. 1: Formy porušení oxidické vrstvy: a) odlupování (vznik „puchýře“), b) praskání, c) mikropóry v povlaku, d) „lom“ odchlípnutí povlaku e) nízká koheze způsobující štěpení, f) trhlina na hraně oxidické vrstvy. [15]

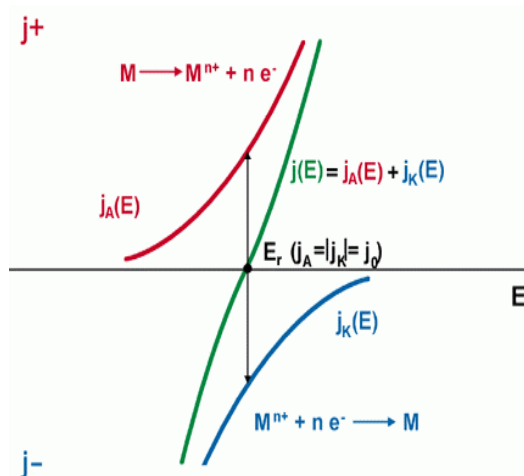
2.2 Elektrochemická koroze

Elektrochemická koroze probíhá především ve vodních prostředích, zejména v elektrolytech, ale i v půdách. Předpokladem pro vznik koroze je vytvoření galvanického článku, ve kterém kov korodující a kov způsobující korozi tvoří anodu a katodu. Anodická reakce značí oxidaci kovu, resp. vlastní korozi. Katodická reakce značí redukci oxidující složky tvořící roztok. Vzájemná reakce se nazývá depolarizační reakce. Anoda při této reakci elektrony poskytuje, zatímco katoda tento počet elektronů přijímá. Vzájemná interakce zabraňuje hromadění elektrických nábojů. Tuto reakci lze nazvat jako zachování elektroneutrality. Významným činitelem v posuzování korozního článku je tzv. elektrodový potenciál. Potenciál je přesně určená hodnota udávající rovnováhu dané elektrochemické reakce mezi kovovým povrchem a elektrolytem. Termodynamickou rovnováhu reakce vyjadřuje rovnovážný potenciál E_r [V], konkrétní elektrodový potenciál značíme E [V]. [1, 5]

$E - E_r = \eta$ [V] kde η = předpětí reakce a současně hnací síla korozního procesu

$\eta = 0$ reakce nemůže probíhat

$\eta \neq 0$ reakce probíhá, η nabývá kladných i záporných hodnot, znamínko vyjadřuje, zda reakce probíhá ve směru oxidace či redukce (kladné = oxidace, záporné = redukce). [1]



Obr. 2: Rovnovážný potenciál kovů. [9]

Grafické znázornění závislosti potenciálu E na rychlosti korozní reakce j . Červená křivka znázorňuje anodickou oxidaci kovů, modrá křivka katodickou redukci, zelená křivka představuje výslednou polarizační křivku. Z grafu plyne, že v rovnovážném stavu potenciálu E_R je hodnota rychlosti oxidace totožná s hodnotou rychlosti redukce, z čehož plyne, že reakce neprobíhá. [9]

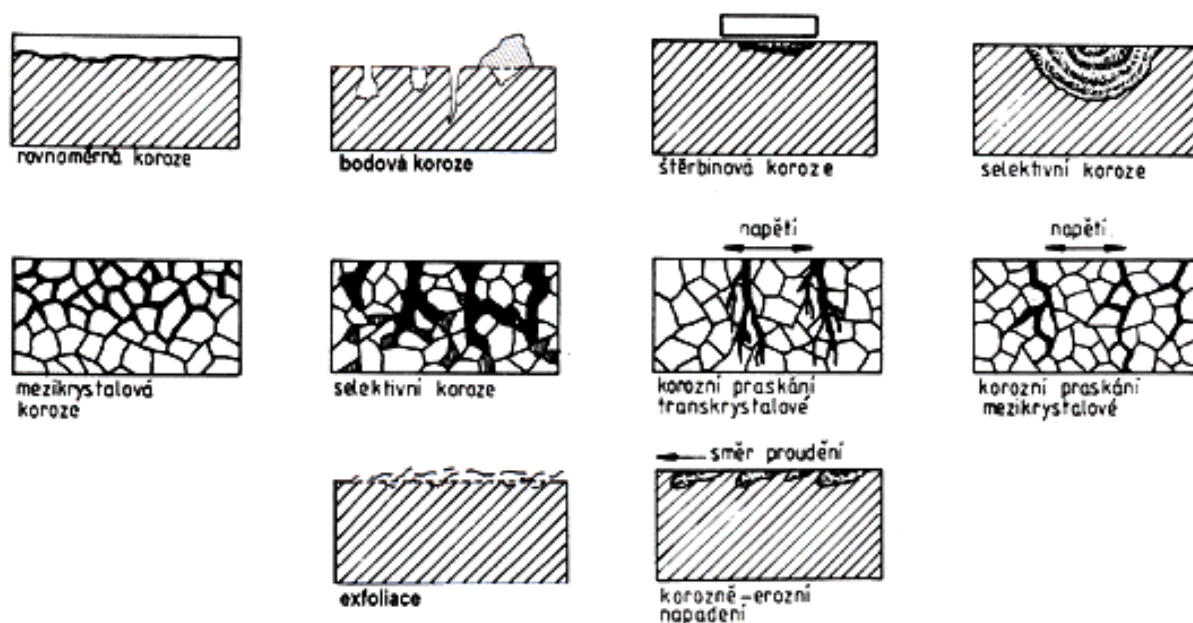
Chemická a elektrochemická koroze neprobíhá pouze separovaně, mnohé poznatky prokázaly, že koroze probíhá kombinací těchto dvou v doprovodu s možnými typy korozí, jakými jsou biologická či mikrobiologická koroze apod. [10]

2.3 Druhy korozního napadení

Každý druh koroze se vyznačuje vlastní povahou napadení a konkrétními důvody vzniku. [3]

Korozi lze rozdělit dle vzhledu napadení na:

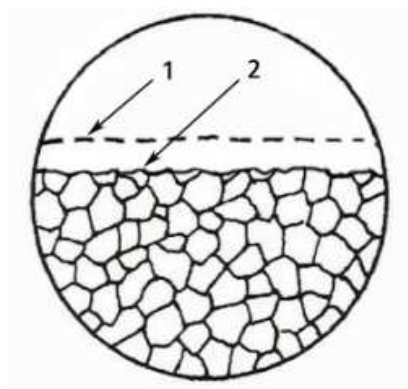
- rovnoměrnou korozi
- nerovnoměrnou korozi [10]



Obr. 3: Vybrané typy korozních napadení. [9]

2.3.1 Rovnoměrná koroze

Někdy též označována jako celková koroze. Nejlépe viditelný typ korozního napadení. Lze pozorovat, že rozpuštění materiálu je na celém povrchu téměř stejné (ztrátu hmotnosti materiálu lze vyčíslit jako úbytek tloušťky v mm za rok). Korozní rychlost je v porovnání s ostatními druhy napadení dosti vysoká, avšak nebezpečnost této koroze je menší než u nerovnoměrných druhů koroze. Hlavním důvodem tohoto zjištění je fakt, že rozsah a následné pochody koroze můžeme snadno předpovídat. [2, 3]



Obr. 4: Schéma rovnoměrné koroze: 1) původní povrch 2) povrch po zkorodování. [16]

2.3.2 Nerovnoměrná koroze

U nerovnoměrné koroze není výskyt napadení celoplošný, ale pouze lokální, a hloubka zde není na rozdíl od koroze rovnoměrné konstantní. Nesouměrnost napadení bývá způsobena rozdílem teplot v konkrétním materiálu či interakcí mezi korozně odlišnými materiály. Mezi nejčastěji vyskytující se nerovnoměrné koroze patří koroze bodová, štěrbinová, mezikrystalová, transkrystalická, selektivní, korozní praskání či korozní únava. Extrémem v této oblasti jsou tzv. strukturní druhy koroze, jež se projevují poklesem mechanických vlastností materiálu za téměř nulové změny vzhledu povrchu. [1, 3]

2.3.2.1 Bodová koroze

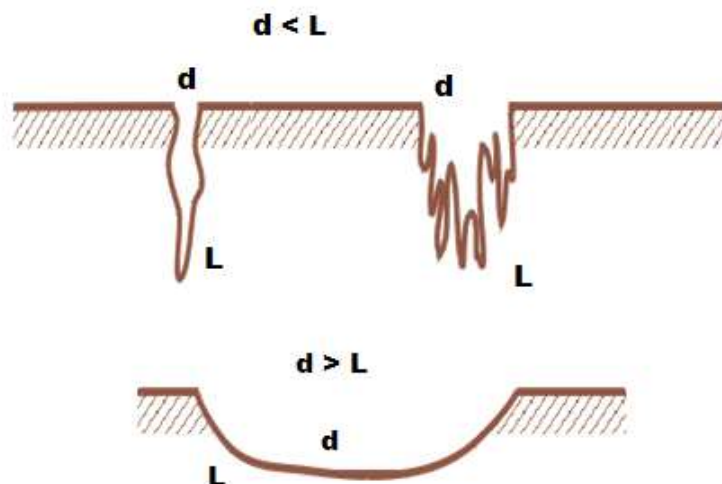
Aktivačním činitelem této koroze je přítomnost roztoku obsahující chlor, brom nebo jod a jejich halogenidy nebo chlornany. Ionty těchto prvků pronikají ochrannou vrstvou kovu mnohem snadněji než jiné ionty. Na napadených místech se iniciuje tzv. bodová koroze směřující do hloubky materiálu, která převládá nad průměrem daného napadení (viz obr. 6). Tento rychlý pochod může způsobit celkovou perforaci (proděravění) i poměrně tlustého plechu. Bodová koroze vzniká převážně v místech nespojitého povrchového filmu, jako jsou vady materiálu, nekovové vměstky či jiné nehomogenity. Rychlost pronikání koroze materiálem je ovlivněna stálostí součástky či iniciačního roztoku, při pozici v klidu je rychlost vzniku kritického zárodku bodu pravděpodobněji než u součásti, která je v pohybu.[2]



Obr. 5: Bodová koroze austenitické korozivzdorné oceli v prostředí chloridů. [9]

2.3.2.2 Důlková koroze

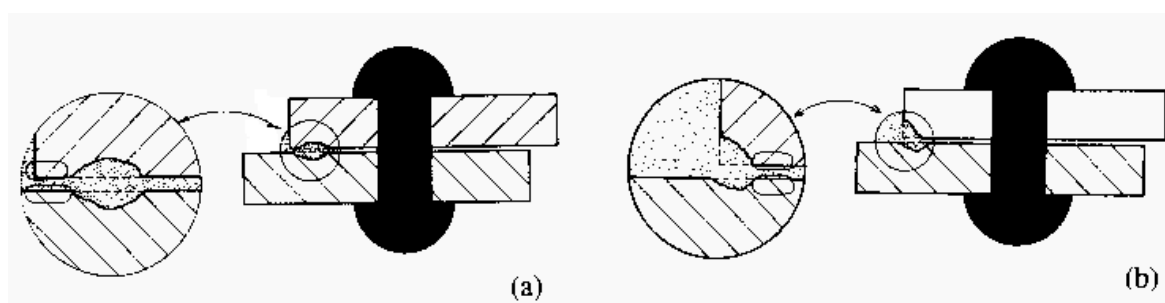
Projevuje se stejně jako u bodové koroze vytvořením prolákliny na povrchu součásti směřující do hloubky materiálu, liší se však hloubkou napadení. Důlková koroze je typická menší hloubkou L na úkor většího průměru napadení d (viz obr. 6). [7]



Obr. 6: Porovnání bodové ($d < L$) a důlkové koroze ($d > L$). [15]

2.3.2.3 Štěrbínová koroze

Štěrbínová koroze probíhá v úzkých kapilárách či v místech se špatnou výměnou prostředí. Štěrbiny zvyšují agresivitu okolních roztoků, materiál má v tomto okolí horší pasivační charakter. Základním faktorem vzniku štěrbinové koroze je šířka štěrby, resp. její hloubka. Při větším otevření mezery mezi materiály a menší hloubce vzájemné interakce je pravděpodobnost vzniku menší. Koroze se iniciuje rozdílnou koncentrací iontů v elektrolytu ve štěrbinách (viz obr. 7.). [3]



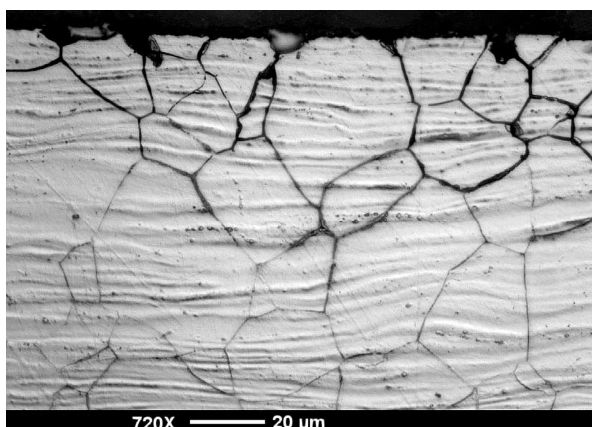
Obr. 7: Štěrbínová koroze nýtového spoje jev: a) rozdílné odvězdušnění v ústí přístupu kyslíku, koroze uvnitř b) různé koncentrace iontů kovu uvnitř štěrby, koroze vně. [3]

2.3.2.4 Mezikrystalická koroze

Tento specifický druh koroze probíhá mezi jednotlivými hranicemi zrn kovu. Vyskytuje se zejména u materiálů, jejichž struktura byla tepelně ovlivněna např. při svařování či u slitin, které podléhají stárnutí. U některých slitin se mezikrystalová koroze vyskytuje v důsledku tepelného zpracování. Nejvíce ohrožuje korozivzdorné oceli, ale i slitiny niklu či

hliníku. Koroze proniká do značné hloubky, případně i skrz celou tloušťku materiálu, čímž porušuje soudržnost všech stýkajících se zrn a materiál postupně ztrácí mechanické vlastnosti. V krajních případech lze hovořit o tom, že se zrna rozpadají na prášek. [2]

Vznik mezikrystalové koroze je vyvolán různými činiteli, buďto je mezikrystalová oblast přesycena slitinovými prvky, nebo v častějších případech o tyto prvky ochuzena. Dalším důvodem může být výskyt nečistot na hranicích zrn. U korozivzdorných ocelí se projevuje v důsledku špatného tepelného zpracování, formou úbytku chromu v mezikrystalových mezerách, způsobeného menší difúzní rychlostí, než má v těchto slitinách uhlík. Množství chromu nesmí v mezikrystalových mezerách klesnout pod hodnotu 12 %. Hlavním důvodem vzniku MKK je ohřev v kritické oblasti teplot. Její výskyt je typický pro svarové švy, a to nejen u korozivzdorných ocelí, ale i u neželezných kovů. [3, 4]

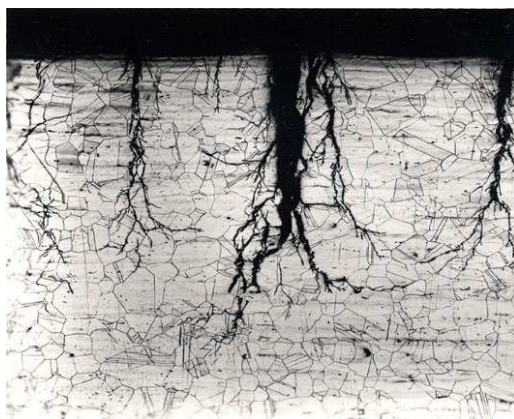


Obr. 8: Mezikrystalová koroze u korozivzdorné austenitické oceli. [17]

2.3.2.5 Další druhy napadení

Koroze za napětí

Konkrétněji ji definujeme jako jev zvaný *korozní praskání*. Při působení tahového napětí v materiálech napadených mezikrystalickou či transkrystalickou korozí nebo jejich kombinací vzniká tendence k praskání materiálu. Korozní praskání je závislé na pracovním prostředí, kterému je vystavena. Obecně lze říci, že korozní praskání probíhá pouze v atypickém prostředí, které je specifické pro daný materiál, a pouze za jistých vnějších podmínek. [3]



Obr. 9: Transkrystalické korozní praskání.[9]

Korozní únava

Napadená součást je namáhána střídavým zatěžováním. Koroze užírá daný průřez materiálu, tudíž lze předpokládat, že lom nastane dříve a než bylo určeno empirickým výpočtem. Trhliny jsou převážně transkrystalického původu. [2]



Obr. 10: Korozní únava nástrojové oceli. [9]

3 Rozdělení a charakteristika korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli jsou oceli se zvýšenou odolností proti korozi za normálních i zvýšených teplot. Tyto materiály také postupem času korodují, avšak podstatně pomaleji, čímž roste jejich životnost a zejména cena. Pojem korozivzdorná koroze je relativně čerstvý, první dochované patenty označující ocel jako ocel korozivzdornou pochází z Anglie z roku 1872. Tato ocel obsahovala 30 % chromu a 2 % wolframu. V českých zemích vznikly první patenty v roce 1910, kdy kladenská Poldi huť předvedla ocel Anticoro použitou na hlavně loveckých pušek. V současnosti je výroba korozivzdorných ocelí již plně rozšířena, sortiment korozivzdorných ocelí je široký. [4]

Korozivzdorné oceli a slitiny rozdělujeme do 3 základních skupin. Dle chemického složení, dle struktury materiálu a dle nutnosti tepelného zpracování. Významný vliv při rozdělení jednotlivých druhů korozivzdorných ocelí hraje zastoupení legujících prvků. [3]

3.1 Vliv legujících prvků na odolnost proti korozi

Koroze se u jednotlivých materiálů za srovnatelných podmínek projevuje různě, liší se korodující rychlostí či korozním napadením. Z ověřených poznatků lze říci, že kombinací různých legujících prvků korozi snadno omezíme nebo redukuje rychlost jejího šíření na minimum. Z pravidla hovoříme o prvcích, jež jsou schopny **pasivace**, tj. vytvoření ochranné vrstvy na povrchu součásti, která brání vzniku elektrochemické koroze v oxidačním prostředí. [1, 5]

U ocelí jak legovaných, tak i nelegovaných se vždy nachází nečistoty, které nejsme schopni normálními technologickými postupy zcela odstranit. Normy s těmito nečistotami počítají, ale pouze v povolené míře, jako příklad lze uvést síru v oceli. Dalším typem jsou nečistoty, které se dostaly do materiálu během výroby či používání. Jedná se například o okuje, jež byly zaválcované během výroby do struktury materiálu. Tyto příměsky negativně ovlivňují korozní odolnost a zpravidla jsou iniciátory nechtěné koroze. [2]

3.1.1 Chrom (Cr)

Feritotvorný prvek, základní přísada všech korozivzdorných ocelí pro dosažení pasivovatelnosti a odolnosti proti oxidaci za zvýšených teplot. Odolný k místním druhům koroze ve vodných prostředích a zejména odolný v oxidačním prostředí. Pro vznik pasivační vrstvy je nutno rozpustit v matici **nejméně 11,7 % Cr**, tento obsah označujeme jako **základní podmínku pasivace**. Oceli s obsahem chromu nad 12 % lze označovat jako korozivzdorné. Oceli s obsahem nižším než 12 % jsou tzv. samokalitelné, tj. austenit se samovolně transformuje na martenzit při provozních teplotách. Naopak je-li obsah chromu vyšší než 12 %, korozní odolnost roste. Běžně se obsah chromu v korozivzdorných ocelích pohybuje mezi 15-30 %. Další navyšování obsahu je již kontraproduktivní, zhoršují se mechanické vlastnosti, zpracovatelnost i svařitelnost materiálu. [3, 4, 9]

3.1.2 Nikl (Ni)

Druhý nejdůležitější prvek v oblasti legur pro korozivzdorné ocele. Prvek zvyšující stabilitu austenitu, zvláště za vysokých teplot. Do 7 % obsahu niklu ve slitině se austenit snadno přeměňuje na Martenzit. Pro dosažení zaručené stability je potřeba alespoň 14 % Ni, poté lze považovat ocel za austeniticky stabilní, tj. lze ji uplatnit v mnoha oblastech a je imunní proti většině korozi. Nikl má příznivý vliv na korozní odolnost, zejména v redukčních vodných prostředích. Při obsahu mezi 8 až 10 % Ni v matici není zaručena odolnost proti koroznímu praskání za napětí, a to v prostředí obsahující chloridové ionty. K celkovému potlačení korozního praskání dosahujeme až při cca 30 % Ni ve struktuře. Nikl pozitivně ovlivňuje mez kluzu a houževnatost součástí. [3, 5, 9]

3.1.3 Molybden (Mo)

Feritotvorný prvek, u austenitických ocelí zvyšuje korozní odolnost v prostředí redukčních kyselin a solných roztoků. Jeho přítomnost rozšiřuje oblast feritu, tudíž je nutné přidat austenitotvorný prvek např. nikl, čímž se zachová austenitická struktura. V kombinaci s chromem či dusíkem příznivě ovlivňuje ochranné vlastnosti pasivující vrstvy. Typickou vlastností molybdenu (a wolframu) je vysoká odolnost proti bodové a štěrbinové korozi. Jeho použití je z důvodu vysoké ceny doporučeno pouze v případě, že jej nelze nahradit levnějším prvkem. [3, 4, 9]

3.1.4 Mangan (Mn)

Austenitotvorný prvek, při obsahu nad 3 % přispívá k potlačení korozního praskání svarů. Mangan je např. u chrommanganových ocelí používán jako náhrada niklu, jeho role jako legujícího prvku ovšem není s niklem stejná. Mangan na rozdíl od niklu nerozšiřuje austenitickou oblast za vysokých teplot. Jeho typickou vlastností je zvyšování rozpustnosti dusíku v matici materiálu. Snižuje společně s uhlíkem teplotu M_s (martenzit start). Při vyšších obsazích manganu a uhlíku se austenit netransformuje a v oceli se nachází austenitická matrice. U konstrukčních ocelí bývá používán zejména díky dobré ceně jako přísada k jiným prvkům. [3, 4]

3.1.5 Další legury

Křemík (Si)

Silně feritotvorný prvek. Až do obsahu 0,5 % není považován za leguru, ale pouze za dezoxidační přísadu. Využití křemíku v oblasti korozivzdorných ocelí zejména u ocelí žáruvzdorných (korozně odolné za vysokých teplot). Křemík zpomaluje nauhličování a podílí se na tvorbě ochranné vrstvy. V množství 3 – 4 % odstraňuje náchylnost vůči mezikrystalické korozi. [3, 4]

Hliník (Al)

Společně s chromem, křemíkem a niklem má využití jako legura pro oceli odolné proti korozi za vysokých teplot. U feritické oceli se obsah Al pohybuje mezi 0,5 – 1 %, u chromových ocelí 1,2 až 2,1 % Al. Hliník způsobuje precipitační vytvrzování slitiny. Podobně je na tom i titan, který ve struktuře vytváří karbidy. [5, 9]

Dusík (N)

Austenitotvorný prvek, využití zejména v austenitických a dvoufázových ocelích. Legování až do 0,4 % hm. Dusík zvyšuje pevnost oceli a zlepšuje odolnost austenitické fáze k bodové a štěrbínové korozi. Slouží jako velmi účinná náhrada niklu. Zhoršuje mechanické vlastnosti u čistě feritických ocelí. [9]

Měď (Cu)

Slabě austenitotvorný prvek zvyšující odolnost zejména v prostředí kyseliny sírové. Do ocelí je přidáván také z důvodu zlepšení obrobitelnosti, a to při obsahu 3 až 4 %. [3]

3.2 Chemické složení korozivzdorných oceli

Dle chemického složení dělíme korozivzdorné oceli na:

- Chromové oceli
- Chrom-niklové oceli
- Chrom-manganové oceli [18]

3.2.1 Chromové oceli

Základním legujícím prvkem těchto ocelí je chrom. Jeho obsah se pohybuje mezi 8 až 30 %. Korozní odolnost je vysoce závislá na kvalitě opracování povrchu. Pro vytvoření stabilní pasivní vrstvy je nutné leštění povrchu. [4, 12]

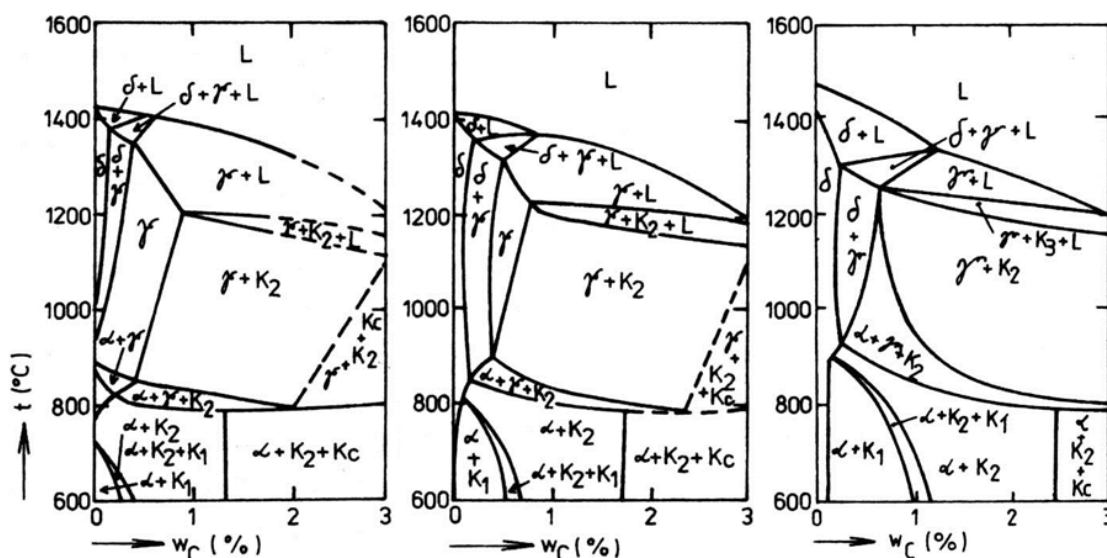
Dle obsahu chromu dále korozivzdorné oceli dělíme:

- Chromové oceli s 13 % Cr
- Chromové oceli s 18 % Cr
- Chromové oceli s 22 až 30 % Cr [4]

3.2.1.1 Chromové oceli s 13 % Cr

Nejčastěji používané jako korozivzdorné oceli, méně často jako žáruvzdorné do teploty 800 až 850 °C. Někdy též nazývané kalitelné korozivzdorné oceli, při vyšších obsahů uhlíku tyto oceli kalíme na vysokou tvrdost. Mechanické vlastnosti lze ovlivňovat popouštěcí teplotou. Struktura těchto ocelí je feritická a martenzitická. Feritické oceli jsou typické obsahem uhlíku do max. 0,05 %, při tomto obsahu se vylučuje karbid $(\text{Fe, Cr})_{23}\text{C}_6$, tzv. karbid K_1 . U martenzitických ocelí se obsahem uhlíku nad 0,7 % ze struktury vylučuje karbid $(\text{Fe, Cr})_7\text{C}_3$ nazývaný K_2 (viz obr. 11). Oba tyto karbidy mají proměnlivý poměr železa a chromu. [4]

Martenzitické chromové oceli mají po zakalení vysokou korozní odolnost v atmosférických podmínkách, zředěných kyselinách, solích apod. zvláště za pokojových teplot. Oceli s obsahem 13 % chromu jsou náchylné k bodové korozi a koroznímu praskání. Při obsahu uhlíku vyšším než 0,08 % a vyšších požadavcích na odolnost proti korozi se obsah chromu navyšuje na 14-16 %. [4, 12]



Obr. 11: Vertikální řezy diagramem Fe-C-Cr, při obsazích Cr 12 % Cr (vlevo), 15 % Cr, 20 % Cr. [18]

3.2.1.2 Chromové oceli s 18 % Cr

Původně se tyto oceli používaly jako žáruvzdorné, a to za teploty do 950 °C. Pozdější studie těchto materiálů ovšem zjistily, že při nízkých obsazích uhlíku mají tyto oceli výborné plastické vlastnosti.

V současné době dělíme tyto chromové oceli na základě množství uhlíku:

- S obsahem do max. 0,03 % C, tzv. chromové feritické korozivzdorné oceli (superferity)
- S vyšším obsahem, tj. 0,1-0,25 % C, používané zejména jako žáruvzdorné, méně často jako korozivzdorné. Jejich struktura je tvořena maticí feriticko-martenzitickou, resp. martenzitickou. [4]

Feritické korozivzdorné oceli mají 16 až 18 % Cr. Jsou typické sklonem k mezikrystalové korozi. Tato nechtěná vlastnost se potlačuje stabilizací (Ti, Nb), čímž se zabráňuje vylučování karbidů a nitridů na hranicích zrn. Přidáním obvykle 2 % molybdenu vytváříme stabilnější pasivační vrstvu, snižujeme rychlost koroze a tím zvyšujeme tvrdost feritu a odolnost proti bodové i celkové korozi. [4]

3.2.1.3 Chromové oceli s 22 až 30 % Cr

Tyto oceli se dle obsahu uhlíku dělí:

- S obsahem max. 0,035 % C, tj. feritické
- S vyššími obsahy, tj. feriticko-karbidické

Korozivzdorné oceli s feritickou maticí jsou tvořeny delta feritem, který je do určitého obsahu uhlíku stabilní po celém pásmu teplot. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku se struktura transformuje na chromový ferit, ve kterém je vyloučen karbid K_1 , tj. $(Fe,Cr)_{23}C_6$ (viz obr. 11). Feriticko – karbidické oceli se používají zejména jako oceli žáruvzdorné do teploty 1100 – 1200 °C. [4]

Feritické oceli jsou vysoce odolné vůči řadě agresivních prostředí, tj. HNO_3 , NH_4OH apod. Jejich celková a mezikrystalová korozní odolnost je závislá na obsahu chromu, uhlíku a dusíku (musí se pohybovat mezi 0,025 - 0,035 %) a přítomnosti molybdenu (2 – 4 %). Stabilizují se podobně jako předchozí typy Ti, Nb či Ta. Tyto oceli jsou využívány v chemickém průmyslu, v tepelných energetických zařízeních včetně jaderných elektráren. [12]

3.2.2 Chrom-niklové oceli

Vhodnou kombinací chromu a niklu lze získat po tepelném zpracování nemagnetickou austenitickou matici, která je pro tento druh materiálu typická. Jsou k dispozici v široké škále obsahů, tj. 12 až 25 % Cr, 8 až 38 % Ni (s vyššími obsahy většinou žáruvzdorné oceli). Obsah uhlíku zpravidla mezi 0,01 až 0,15 %. Dále se vyskytují ve variantách s přísadami N, Mo, Cu či Si. [3, 4]

Cr-Ni oceli dělíme dle struktury, případně dle dalších přísad:

- Nestabilizované austenitické oceli
- Stabilizované austenitické oceli
- Austenitické oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku
- Austenitické oceli s přísadou molybdenu
- Austenitické oceli s přísadou molybdenu a mědi [4]

3.2.2.1 Nestabilizované austenitické oceli

Patří mezi nejrozšířenější korozivzdorné materiály s velmi dobrými technologickými vlastnostmi. Jejich složení je tvořeno 18 % Cr a 8 až 12 % Ni, jenž zvyšuje korozní odolnost v řadě korozních prostředí oxidického charakteru. Cr-Ni oceli se používají také jako žáruvzdorné. [12]

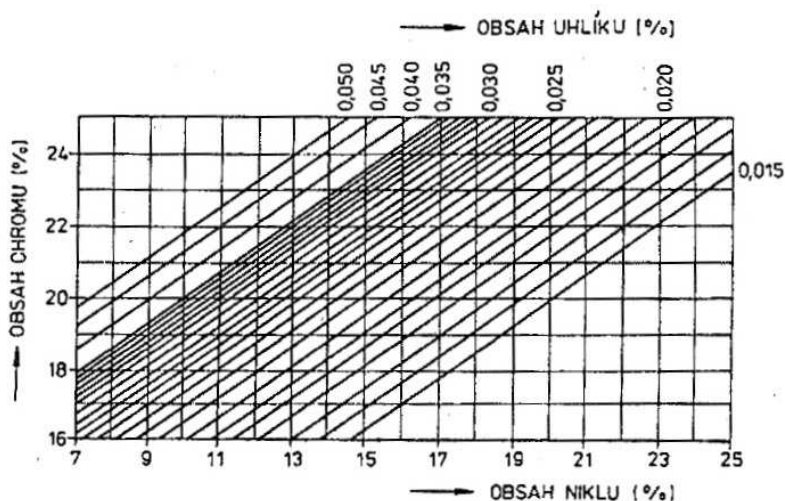
Podobně jako oceli chromové jsou i tyto oceli náchylné na vznik mezikrystalové koroze projevující se vylučováním vysoce chromového karbidu Cr_{23}C_6 či nitridů při nízkém obsahu uhlíku. Odolnost proti mezikrystalové korozi zvyšujeme přidáním většího obsahu chromu. Obsah niklu sám o sobě mezikrystalové korozi nebrání, avšak v kombinaci s chromem lze snadno zjistit, při jakých obsazích uhlíku k MKK nedojde (viz obr. 12.). [12]

3.2.2.2 Stabilizované austenitické oceli

Pro zabránění vylučování karbidů u těchto ocelí, podobně jako v předchozích případech, legujeme tyto oceli titanem a niobem, jež tvoří s uhlíkem karbidy TiC a NbC . Poměr Ti a C je dle stechiometrického poměru 4:1, z důvodu velké reaktivnosti Ti s dusíkem a vlivem rozpouštění se Ti v matici se ovšem přidává Ti v poměru 5:1 (případně i 6:1). U stabilizované oceli je předpokladem úplné potlačení vzniku koroze zejména MKK, praxe ovšem potvrdila, že tento předpoklad není zcela pravdivý, v ojedinělých případech se u těchto materiálů objevuje tzv. nožová koroze. [4]

3.2.2.3 Austenitické oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku

Obsah uhlíku se pohybuje do max. 0,05 %. Oceli jsou při tomto množství téměř zcela imunní vůči mezikrystalové korozi. Jak již bylo řečeno výše, množství uhlíku, při kterém nevznikne MKK, je závislé na obsahu Cr a Ni (viz obr. 12). Přímky v diagramu určují maximální množství uhlíku, které zaručí potlačení MKK. Nevýhodou těchto typů korozivzdorných ocelí je velmi nízká mez kluzu, kterou lze eliminovat změnou tloušťky stěn součástky či přidáním 0,1 až 0,15 % N. [4]



Obr. 12: Vliv chromu a niklu na mezní stav uhlíku pro předcházení MKK. [4]

3.2.2.4 Austenitické oceli s přísadou molybdenu

Pro zvýšení korozní odolnosti chrom-niklových austenitických ocelí v aktivním i pasivním stavu přidáváme do struktury molybden. Molybden má příznivou vlastnost v hromadění se v pasivační vrstvě. Stejně jako železo a chrom tvoří i molybden karbid K_1 , tj. $Mo_{23}C_6$. Zbylá část molybdenu se rozpouští v matici, v které lze rozpustit 3,5 až 10 % Mo. Pro zajištění jednofázové struktury je nutno přidat vyšší obsah Ni. I tyto oceli stabilizujeme titanem. Velmi dobrou odolnost mají tyto oceli proti bodové korozi, zejména ve slabě oxidačních prostředích. Používají se ve výrobě celulózy, papíru či textilních vláken. [4]

3.2.2.5 Austenitické oceli s přísadou molybdenu a mědi

Molybden má velice dobrou pasivační schopnost. Pro zlepšení této vlastnosti v prostředích, pro které není zcela určena, tj. zejména v silně neoxidačních kyselinách, záměrně přidáváme měď. Měď zvyšuje pasivační schopnost zejména v kyselinách typu zředěné kyseliny fluorovodíkové, octové a sírové. Z důvodu omezené rozpustnosti Cu v austenitu se obsahy Cu pohybují kolem cca 3 %. [4]

3.2.3 Chrom-manganové oceli

Z důvodu velké spotřeby chrom-niklových ocelí, jež jsou i poměrně drahé, bylo snahou vývoje nahradit nikl lacinějším prvkem. Nejlépe tomuto zadání vyhovoval mangan, jenž je stejně jako nikl austenitotvorným prvkem a otevírá oblast gama (austenit), s přidavkem

dusíku a mědi. Mnohé studie ukázaly, že vhodnou kombinací těchto legujících prvků lze dosáhnout stejných vlastností jako u chrom-niklových ocelí. [4]

Chrom-manganové oceli dělíme:

- Austenitické oceli typu Cr – Mn – Ni - N
- Austenitické oceli typu Cr - Mn - N [4]

3.2.3.1 Austenitické oceli typu Cr – Mn – Ni - N

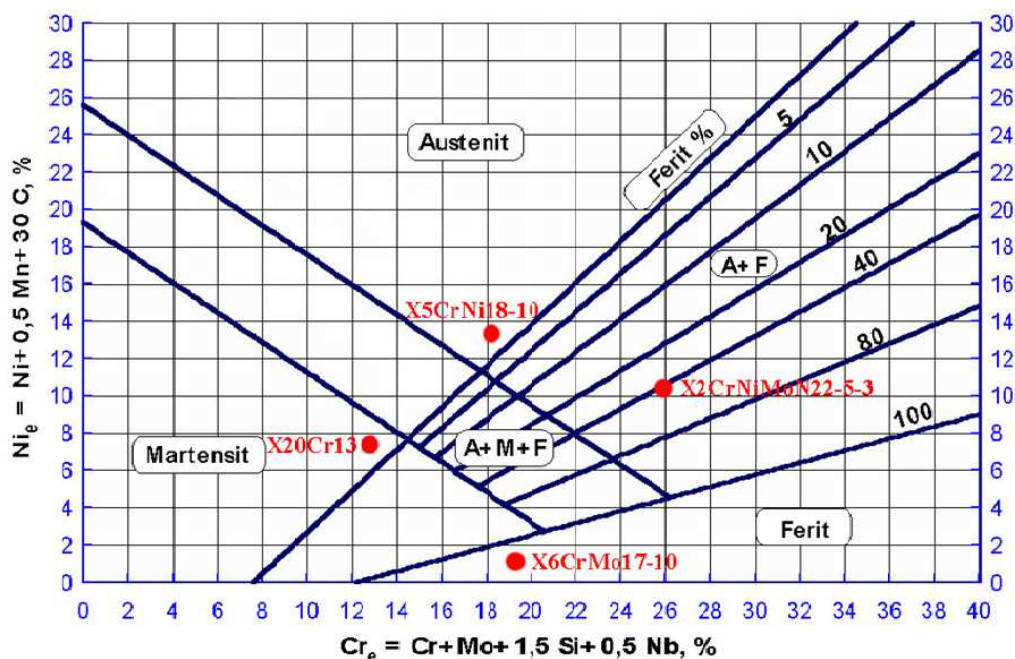
Obsah chromu je u těchto ocelí v rozmezí 17 až 20 % při max. 0,15 % uhlíku. Obsah niklu je snížen na rozdíl od chrom-niklových ocelí na 4 až 6 %. Mangan, který vlastnosti niklu nahrazuje, je v těchto ocelích zastoupen 8 až 10 % společně s 0,15 až 0,25 % dusíku. Dále jsou tyto materiály legovány max. 1,2 % křemíku, jenž snižuje vrubovou houževnatost. U některého typu se lze setkat i s legury typu Mo a Cu. Mezi nové typy materiálu patří oceli Cr – Mn – Ni - N s obsahem max. 0,03 % C. Jejich typickou vlastností je velmi dobrá odolnost vůči mezikrystalové korozi a odolnost vůči kyselinám typu HNO₃. [4]

3.2.3.2 Austenitické oceli typu Cr – Mn - N

Obsah manganu je zde na úkor menšího obsahu Ni (1 – 2 %) zvýšen na 14 až 17 %. Z důvodu lepší rozpustnosti dusíku v ocelích s vyšším obsahem Mn je množství dusíku 0,32 až 0,42 %. Obsah chromu se zde pohybuje v rozmezí od 16 do 22 % v závislosti na množství Mn. Manganové oceli jsou typické vysokou mezí kluzu, avšak špatně se osvědčují jako materiály na hluboké tažení. Chrom-manganové oceli se používají v potravinářském a strojírenském průmyslu či ve výrobě spotřebního zboží. [4]

3.3 Korozivzdorné oceli dle struktury

Struktura jednotlivých korozivzdorných ocelí je, jak jsme zjistili již v předchozím dělení dle chemického složení, závislá především na typu a obsahu legujících prvků. Základním prvek korozivzdorných ocelí je stále železo a jeho slitiny s uhlíkem. Vliv legujících prvků na strukturu lze posuzovat dle Schaefflerova diagramu (viz obr. 13). Tento diagram pracuje s tzv. přepočtovými ekvivalenty. Chromový resp. niklový ekvivalent je tvořen dvěma hlavními prvky v oblasti přísad. Chrom jako základní legující prvek korozivzdorných ocelí je hlavním zástupcem feritotvorných prvků, které rozšiřují oblast feritu. Dalšími zástupci feritotvorných prvků jsou Mo, Si, Ti, Al, Nb, V, W aj. Nikl je hlavním zástupcem austenitotvorných prvků, které rozšiřují oblast austenitu. Mezi austenitotvorné prvky dále patří Mn, Cu, C či N. [3]



Obr. 13: Schaefflerův diagram korozivzdorných ocelí. [18]

Základní rozdělení struktur:

- Martenzitická struktura (kalitelná)
- Feritická struktura
- Austenitická struktura
- Dvoufázové struktury
 - Austeniticko-feritické struktury
 - Feriticko-martenzitické
- Precipitačně vytvrditelné [18]

3.3.1 Martenzitická struktura

Martenzitické oceli jsou tvořeny 0,1 až 1,5 % C, 12 až 18 % Cr, případně se zde nachází i legury typu Ni, Mo, Nb. Korozní odolnost je zajištěna po zakalení. Po zakalení ocel popouštíme mezi 450 až 550 °C, jsou však možné i jiné formy tepelného zpracování. Uplatňují se díky svým vlastnostem (vysoká pevnost, mez kluzu) v potravinářském průmyslu, ve zdravotnické technice a nástrojích či jako materiály pro měřidla apod. [11]

3.3.2 Feritická struktura

Obsah uhlíku se v této struktuře pohybuje do max. 0,1 %, za současné přítomnosti 13 až zhruba 26 % Cr. Feritická struktura je typická pro chromové oceli, které si zachovávají feritickou strukturu až do teploty 900°C. Po zahřátí na vyšší teplotu se část feritu přemění na austenit. Tyto oceli poté nazýváme **poloferitické** (dvoufázová struktura ferit-martenzit), po ochlazení se nově vzniklý austenit transformuje na martenzit, zatímco ferit ve struktuře zůstává. Poloferitické korozivzdorné oceli jsou oproti feritickým z důvodu přítomnosti martenzitu tvrdší. Používají se hojně jako žáruvzdorné, ale také jako korozivzdorné. [3]

Feriticko-martenzitická struktura se vyznačuje dobrými mechanickými i korozními vlastnostmi. Mez kluzu se pohybuje až do 900 MPa, pevnost min. 1000 MPa. Vhodně zvolenou popouštěcí teplotou lze dosáhnout vysoké tvrdosti (viz TZ dvoufázových ocelí). [4]

3.3.3 Austenitická struktura

Austenitické oceli jsou typické vyššími obsahy legujících prvků, zejména se jedná o nikl, mangan či dusík, které společně se slitinou železa a chromu tvoří austenitickou strukturu (viz Cr - Ni oceli). Jejich zvláštností je, že nejsou feromagnetické. Austenitické oceli jsou dobře svařitelné, vyznačují se vysokou houževnatostí, avšak nižšími pevnostními charakteristikami. Jsou špatně obrobitelné a vyznačují se nízkou tepelnou vodivostí. Používají se zejména v chemickém průmyslu, ale i v řadě jiných aplikací (např. kuchyňské nádoby apod.). [3, 11]

3.3.4 Dvoufázové struktury

Dvoufázové neboli duplexní struktury jsou zastoupeny A-F ocelí a F-M ocelí (viz poloferitická ocel). Nejrozšířenějším typem duplexních ocelí jsou oceli austeniticko-feritické. Podíl feritu se u těchto typů pohybuje mezi 30 až 50 %, množství Ni oproti austenitickým ocelím pouze na hodnotách 5 až 7 % při 18 až 27 % Cr. A-F struktura se oproti austenitickým ocelím vyznačuje zejména lepšími pevnostními charakteristikami, platí zde pravidlo, že se zvyšujícím se obsahem feritu pevnostní charakteristiky rostou. Ideálním kompromisem mezi houževnatostí a pevností je A-F ocel s obsahem feritu 40 až 50 %. Vyznačují se zvýšenou odolností proti bodové a štěrbinové korozi, ale i proti ostatním druhům korozi. Kritické teploty vzniku bodové koroze bývají v těchto případech vyšší než u ocelí austenitických. [3]

3.3.5 Precipitačně vytvrditelné

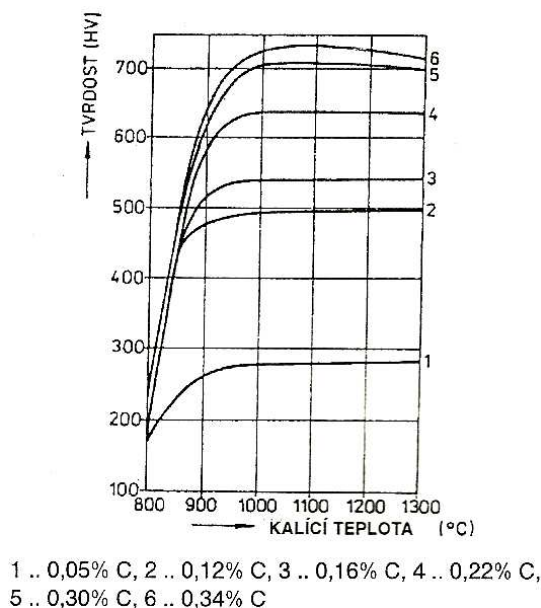
Se zvyšujícími se požadavky na mechanické vlastnosti korozivzdorných ocelí vzrůstá tendence navyšování těchto parametrů pomocí tepelného zpracování apod., v našem případě se zaměříme na precipitační vytvrzování. Lepších pevnostních vlastností dosahujeme důsledkem zpevnění fáze intermetalickými precipitáty, tj. precipitáty Mo, Cu, Al, Ti, Nb či V. Vytvrzování probíhá zejména u austenitických, martenzitických ocelí a u některého typu duplexních struktur. Precipitačním vytvrzováním získáváme vysoké hodnoty tvrdosti, meze pevnosti, meze kluzu až 1400 MPa s tažností až 20 %. Využívá se převážně v leteckém průmyslu, ale i u velmi namáhaných součástí typu energetických a chemických zařízení. [11]

3.4 Tepelné zpracování korozivzdorných ocelí

Tepelné zpracování je nezbytnou součástí správné funkce korozní odolnosti. Zpravidla všechny typy korozivzdorných ocelí podléhají při své výrobě tepelnému zpracování. Výjimkou jsou pouze některé typy feritických korozivzdorných ocelí, kde tepelné zpracování není vyžadováno. [18]

3.4.1 TZ martenzitických ocelí

U martenzitických ocelí probíhá kalení. „Určení kalících teplot martenzitických korozivzdorných ocelí nelze na rozdíl od uhlíkových ocelí stanovit a volit v blízkosti rovnovážných teplot, neboť podvojně karbidy chromu a železa se při nich rozpouštějí v austenitu jen pozvolna.“ [3 str. 101] Kalící teploty jsou určovány u ocelí s obsahem 0,1 až 1% zhruba o 100 až 200 °C vyšší, než je uvedeno v rovnovážných diagramech, tj. hodnoty kolem 1000 °C. Vyšší kalící teploty zajišťují lepší rozpouštění karbidů a zároveň tím docílíme lepší tvrdosti (viz obr. 14.). Při vyšších obsazích uhlíku provádíme kalení i dvakrát po sobě. [3]



Obr. 14: Vliv teploty v závislosti na množství uhlíku a výsledné tvrdosti martenzitických korozivzdorných ocelí. [4]

V důsledku kalení dochází v materiálu k vysokým vnitřním pnutím, která eliminujeme jako u ostatních typu ocelí popouštěním, které je nízkoteplotní či vysokoteplotní. Nízkoteplotní popouštění probíhá při teplotách 100 až 350 °C. Při těchto hodnotách si materiál zachovává svoji tvrdost, ale i výborné korozní vlastnosti. Vysokoteplotní popouštění provádíme v rozmezí teplot 600 až 750 °C, čímž získáváme lepší tažnost a zejména potlačujeme možný vznik mezikrystalové koroze způsobené kalením v teplotách kolem 1000°C. Popouštění v mezních teplotách 350 až 600 °C se nedoporučuje z důvodu zhoršení houževnatosti a korozní odolnosti materiálu. Kombinací kalení a popouštění ke snížení pnutí v rozmezí teplot 200 až 300 °C dosahujeme optimálních hodnot korozní odolnosti [3]

Další způsoby tepelného zpracování martenzitických ocelí:

- Žíhání ke snížení pnutí. Tento typ TZ je použit jako náhrada popouštění, žíhání probíhá v rozmezí teplot 200 až 300 °C, bezprostředně po kalení.
- Žíhání naměkko. Proces sloužící k zlepšení obrobitelnosti materiálu a současně k zjemnění výsledné struktury. Ohřev probíhá v rozmezí teplot 770 až 950 °C s výdrží 1 až 3 hodiny. [3]
- Homogenizační žíhání. Doporučeno zejména u martenzitických korozivzdorných ocelí s obsahem uhlíku nad 0,2 %. Zlepšíme tak mechanické vlastnosti, zejména vrubovou houževnatost. [4]

3.4.2 TZ feritických ocelí

„Tepelné zpracování feritických korozivzdorných ocelí spočívá v ohřevu na 750 až 900 °C s následujícím ochlazováním na vzduchu nebo v oleji.“ [3 str. 125] Jedná se o normalizační žíhání potlačující vlivy zpevnění. Toto žíhání slouží k odstranění náchylnosti k mezikrystalové korozi. Teplotám nad 900 °C se vyhýbáme z důvodu hrubnutí zrna způsobeného vznikajícím martenzitem, a to zejména u feritických ocelí s obsahem chromu okolo 17 %. [3]

3.4.3 TZ austenitických ocelí

Tepelné zpracování austenitických ocelí provádíme zejména z důvodu náchylnosti těchto ocelí na mezikrystalovou korozi. Ocel v důsledku pomalého ochlazování po odlití či tváření vytváří na hranicích zrn karbidy chromu, čímž ztrácí schopnost pasivace a je vůči korozi mnohem zranitelnější. Pro navrácení korozní odolnosti je nutno materiál opětovně ohřát. TZ provádíme rozpouštěcím žíháním. Teplota žíhání je závislá na obsahu uhlíku, v praxi se pohybujeme kolem teplot 1100 až 1150 °C. Pro zamezení vzniku nových karbidů je nutno materiál co nejrychleji ochladit. Ochlazování probíhá zpravidla ve vodě. Stabilizované austenitické oceli by při rozpouštěcím žíhání neměly překročit teplotu 1100 °C. Překročení této teploty vede k rozpouštění stabilizačních karbidů TiC a NbC, proto volíme u těchto ocelí teploty ideálně v rozmezí 1050 až 1090 °C. [4]

Dalším typem TZ, jenž provádíme u stabilizovaných ocelí, je tzv. stabilizační žíhání. Stabilizační žíhání slouží především k lepší schopnosti uhlíku vázat se na karbidy titanu a niobu, provádí se při teplotě 850 až 870 °C. Kombinací těchto dvou druhů žíhání docílíme maximální odolnosti proti celkové korozi a především proti vzniku koroze mezikrystalové. [4]

3.4.4 TZ dvoufázových ocelí

Feriticko-martenzitické oceli podobně jako oceli martenzitické kalíme. Před samotným kalením je ovšem doporučeno homogenizační žíhání. Homogenizační žíhání provádíme v oblasti teplot 1020 až 1050 °C. Hlavním účelem tohoto žíhání je snížit heterogenitu duplexní oceli. Samotné kalení probíhá za nižších teplot, a to 820 až 840 °C, ochlazování probíhá na vzduchu. Popouštění těchto ocelí je závislé na množství uhlíku v materiálu a převážně na požadavcích na výslednou pevnost. Jako příklad pro porovnání výsledné pevnosti v závislosti na popouštěcí teplotě posloužila řada feriticko-martenzitických ocelí o chemickém složení 0,1 až 0,2 % C, 14,5 až 16,6 % Cr, 3,5 až 4,5 % Ni (viz obr. 15). [4]

Popouštěcí teplota (°C)	350	450	550	750
Pevnost (MPa)	1250	1250	1100	1000

Obr. 15: Vliv popouštěcí teploty na výslednou pevnost F-M ocelí. [4]

Austeniticko-feritické oceli podobně jako oceli austenitické podrobujeme rozpouštěcímu žíhání. Hlavním účelem tohoto TZ je převedení karbidů a intermediálních fází do tuhého roztoku feritu a austenitu. Teplota rekrytalizačního žíhání dosahuje zpravidla 1000 až 1100 °C. Na rozdíl od austenitických ocelí nejeví dvoufázové oceli tohoto typu sklon k mezikrystalové korozi po opětovném tepelném ovlivnění, jakým je např. svařování. Proto je není potřeba opětovně tepelně zpracovávat. Po rozpouštěcím žíhání zpravidla následuje rychlé ochlazení a následné vytvrzování. Vytvrzování neboli stárnutí probíhá při teplotě 450 °C, při této teplotě roste pevnost pozvolna v řádu hodin, přičemž tažnost a houževnatost zůstává zachována. Rozdíl mechanických vlastností u Cr-Ni ocelí je znázorněn na obr. 16. Uvedených mechanických vlastností A-F ocelí dosahujeme po čtyřhodinovém vytvrzování. [3]

Ocel	Ferit (%)	$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A_5 (%)	KCU (J.cm ⁻²)
06Cr18Ni9	0	220	590	50	200
02Cr21Ni7 žíhaná	45	400	650	30	150
02Cr21Ni7 vytvrzená	45	500	800	25	80

Obr. 16: Porovnání mechanických vlastností austenitické oceli s A-F ocelí žíhanou a vytvrzenou. [3]

3.4.5 TZ vytvrditelných ocelí

Samotné vytvrzování patří mezi tepelné zpracování. Před samotným vytvrzováním je ovšem nutno daný materiál pro stabilizaci struktury v tuhém stavu žíhat, a to rozpouštěcím žíháním. Teploty se pohybují při maximech 1100 °C, po žíhání materiál rychle ochlazuje ve vodě. V případě A-F struktury se po tomto procesu pohybuje tvrdost kolem hodnoty 250 HB, při této tvrdosti lze materiál snadno zpracovávat. Pro navýšení tvrdosti následuje desetihodinové precipitační vytvrzování při teplotě 450 až cca 500 °C. Tímto postupem lze navýšit hodnotu tvrdosti až na cca 320 HB a pevnost lze navýšit až na hodnotu 1850 MPa. [4]

4 Technologické vlastnosti korozivzdorných ocelí

4.1 Svařitelnost

Úkolem svařování korozivzdorných ocelí je zajištění odpovídající korozní odolnosti zejména ve svarových švech, ale nesmíme opomíjet ani tepelně ovlivněnou oblast. Korozní odolnost je zaručena zejména správnou volbou přídavného materiálu, jakostí svarového spoje a vhodnou volbou svařovacího postupu. V mnoha případech je nutno po svařování provádět TZ. Technika svařování je podobná jako u uhlíkových ocelí, svařovat lze až na výjimky (svařování autogenem, svařování kováním) všemi dostupnými metodami. [3, 13]

Z hlediska typu korozivzdorných ocelí jsou pro svařování vhodné zejména oceli feritické a austenitické. Lze svařovat i **oceli martenzitické**, a to s obsahem uhlíku do 0,15 %, s předešlým přehřevem součástí a následným tepelným zpracováním. Vhodnost **feritických ocelí** v oblasti svařování je omezena zejména z důvodu poklesu tažnosti. Pro vysoké nároky na korozní odolnost je doporučeno použití stabilizovaných feritických ocelí, z důvodu tendence silného růstu zrna ovlivněného vysokým přívodem tepla v TOO. Jako přídavný materiál jsou u feritických ocelí doporučovány přídavné materiály s austenitickou strukturou. [3, 13]

Nejlepší technologické vlastnosti z hlediska svařitelnosti vykazují **oceli austenitické**. U austenitických ocelí s ohledem na dobrou korozní odolnost volíme jako přídavný materiál stejný druh struktury nebo přidáváme materiál s vlastnostmi lepšími (výšelegované). Stabilizované austenitické oceli vykazují po svaření vysokou odolnost proti mezikrystalové korozi, při tloušťkách materiálu nad 5 mm je pro zachování odolnosti vůči MKK potřeba omezit obsah uhlíku pod 0,03 %. Nestabilizované austenitické oceli, popřípadě slabě stabilizované oceli s obsahy uhlíku nad 0,06 %, je nutno po svařování z důvodu náchylnosti k mezikrystalové korozi tepelně zpracovávat (rozpouštěcí žíhání s rychlým ochlazením). [3,13]

4.2 Tvářitelnost

Korozivzdorné oceli podobně jako oceli obvyklých jakostí vykazují dobré vlastnosti z hlediska tvářitelnosti. Tváření dělíme na:

- Tváření za tepla
- Tváření za studena

4.2.1 Tváření za tepla

Tvářecí teploty se u korozivzdorné oceli pohybují nad oblastí 950 °C. Ohřev musí být z důvodu zhoršené tepelné vodivosti velmi pomalý a pečlivý. Materiál nejprve pozvolna ohřejeme do teploty cca 800 °C, poté následuje teplotní prodleva, jež zajistí prohřátí polotovaru v celém jeho objemu. Setrváním na stejné teplotě předcházíme vzniku pnutí a zároveň výskytu trhlin. Při dalším ohřevu již vznik těchto deformací není obvyklý. Konečná teplota ohřevu, při které probíhá tváření, je v oblasti 1150 až 900 °C. U **ocelí feritických** je počáteční teplota okolo 1050 °C, koncové teploty tváření jsou okolo 700 °C. Válcování korozivzdorných ocelí je silově mnohem náročnější než u uhlíkových či ušlechtilých konstrukčních ocelí. Kování probíhá při teplotách mezi 1150 až 1250 °C, v závislosti na

chemickém složení. Vyšší teploty se nedoporučují z důvodu rozpouštění stabilizačních karbidů TiC a NbC. Mezi další možnosti tváření patří lisování, tažení, výroba bezešvých trubek apod. [3]

4.2.2 Tváření za studena

Uplatnění nachází korozivzdorné oceli jak v oblasti plošného přetváření, tak i v procesech objemového tváření. Mezi nejdůležitější operace plošného tváření patří hluboké tažení či ohýbání. Objemové tvarování je zastoupeno zejména protlačováním, pýchováním za studena či tažením drátů a přesných trubek. U **austenitických** korozivzdorných ocelí tvoří tváření za studena nejčastěji používaný způsob, jak u těchto ocelí dosáhnout vyšší tvrdosti a zpevnění. Nově získané mechanické vlastnosti ovšem většinou po žhání zanikají. **Austenitické i feritické oceli** se používají v technologických postupech lisování, ražení, prostřihování, ohýbání, lemování, hloubení tahem apod. **Feritické** oceli jsou z důvodu horší plasticity méně používané, ale přesto nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích např. automobilového či spotřebního průmyslu. Austenitické oceli nacházejí uplatnění i ve více složitých profilech. [3,13]

4.3 Obrobitelnost

Možnosti a hranice obrobitelnosti korozivzdorných ocelí jsou dány především chemickým složením, u některých ocelí případně druhem TZ. Základním kritériem pro určení podmínek pro obrábění **martenzitické oceli** je množství obsaženého uhlíku. Je-li obsah uhlíku do 0,15 až 0,20 %, jsou řezné rychlosti téměř totožné s obráběním ocelí nízkolegovaných. Při vyšších obsazích již narůstají pevnostní charakteristiky a je nutno regulovat řeznou rychlost či použít tvrdší nástrojové materiály (karbidy apod.). Obrábění **feritických ocelí** s obsahem chromu do 20 % je v porovnání s oceli martenzitickými snadnější. Při obsahu chromu 25 až 30 % je již obrábění **feritických ocelí** komplikováno tzv. lepením třísek. Lepení třísek představuje problém z hlediska znečišťování nástroje, což kompenzujeme snížením otáček a současným mazáním. [3]

Špatné vlastnosti z hlediska obrobitelnosti projevují zejména **oceli austenitické**, u kterých působí nepříznivě hlavně sklon ke zpevňování za studena, nízká tepelná vodivost a dobrá houževnatost materiálu. Jako řezné nástroje využíváme slinutých karbidů, v některých případech rychlořezné oceli. Zlepšení obrobitelnosti všech druhů korozivzdorných ocelí zajišťujeme přidáním síry nebo selenu, popř. olova. Množství těchto legur je ovšem nutno z důvodu zhoršení tvárnosti omezovat do max. 0,3 %. [3,13]

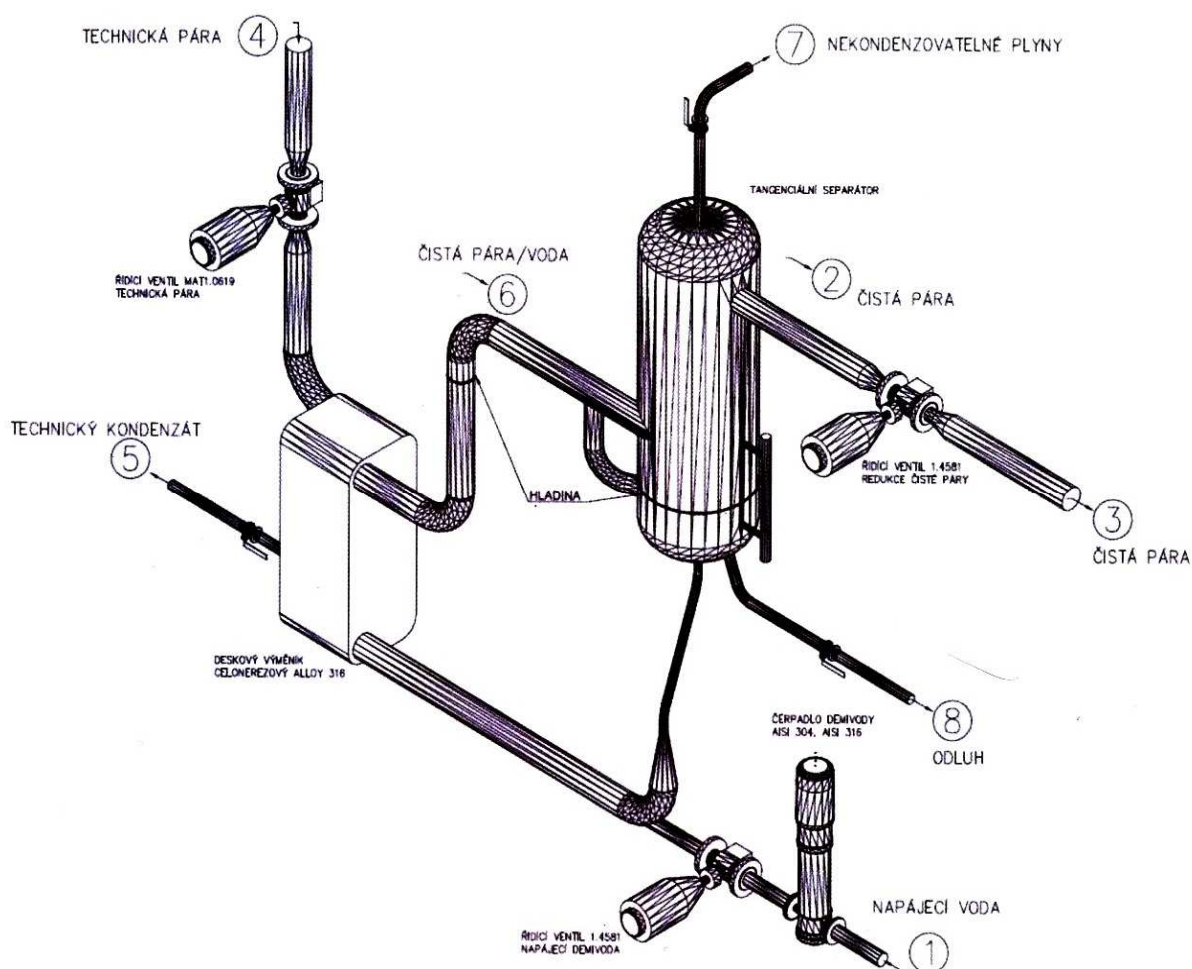
4.4 Vliv kvality povrchu

Kvalita povrchu je primárním předpokladem pro dosažení odolnosti proti korozi a zároveň zajišťuje správnou funkčnost součásti pro prostředí, kterému bude vystavena. Zokružené povrchy opracováváme tryskáním, broušením, kartáčováním, mořením apod. Čistíme-li povrch od hrubých nečistot, je potřeba dbát na fakt, že korozivzdorné oceli musí být vždy v kontaktu pouze s ocelovými kartáči z korozivzdorné oceli. Svarové plochy, tvářené plochy či tepelně zpracované dílce je nutno zbavit oxidové vrstvy na povrchu. Pro odstranění praktikujeme broušení, pískování, kartáčování kartáči z korozivzdorné oceli či moření. [3, 13]

5 Popis vyvíječe čisté páry (parního sterilizátoru) s deskovým výměníkem [6]

Zařízení je určeno pro zdravotnictví a jeho použití spočívá ve výrobě čisté páry sloužící ke sterilizaci nemocničních pomůcek. V tomto konkrétním případě se zařízení využívá na sterilizaci nemocničních lůžek. Vstupním činitelem pro výrobu čisté páry je pitná voda, která je upravená a demineralizována. V navrhovaném procesu je demineralizovaná voda ohřívána v deskovém výměníku tak, aby vznikla parovodní směs. Jako ohřívací médium je v deskovém výměníku použita pára technická. Aby nedošlo ke smíšení a kontaminaci čisté páry s případnými nečistotami z páry technické, probíhají tyto děje v samostatných, od sebe oddělených okruzích, tj. v primárním a sekundárním okruhu. [6]

Schéma zařízení je znázorněno na obr. 17. Technická pára je přiváděna do primárního okruhu parní přípojkou (4) přes řídicí ventil. Po výměně tepla mezi technickou a čistou párou technická pára zkondenzuje a je odváděna kondenzátním potrubím (5) do vychlazovacího výměníku, který je připojen ke zdroji tepla, jenž opětovně technickou páru vytvoří a děj se opakuje. [6]



Obr. 17: Schéma zařízení parního sterilizátoru [6].

V sekundárním okruhu je přehřátá demineralizovaná napájecí voda vedena potrubím (1) přes čerpadlo a řídicí ventil, jenž zajišťuje požadující vstupní parametry. Tato voda vstupuje do vyvíječe čisté páry, kde probíhá transformace vody na parovodní směs, interakcí s ohřátou technickou párou. Výstupní teplota této směsi se pohybuje okolo 200 °C. Výměňkové potrubí dále ústí do tangenciálního separátoru, kde se pára odlučuje od nepřeměněných složek vody. Důsledkem gravitace vodní kapky klesají ke dnu a vrací se zpět k opětovnému ději v deskovém výměníku. Čistá pára vystupuje potrubím (2) k redukčnímu ventilu, který slouží k přeměně výstupních parametrů páry na požadované hodnoty odběrových míst, jež jsou připojena potrubím (3). Nekondenzované plyny jsou odváděny horním potrubím (7). Případné nečistoty shromažďující se na hladině jsou odváděny odkalovacím potrubím (odluh 8). Celý technologický proces musí být přizpůsoben tak, aby výsledný produkt (čistá pára) v místě odběru splňoval podmínky normy ČSN EN 285+A2. [6, 14]

6 Volba korozivzdorné oceli

Volba korozivzdorné oceli je ovlivněna mnoha faktory, základním hlediskem zachování korozní odolnosti i s ohledem na životnost daného zařízení. Dalšími nezbytnými faktory pro správnou volbu nerezavějící oceli jsou:

- Charakteristika provozních prostředí včetně parametru provozu
- Stanovení předpokládaných korozních podmínek, tj. korozní pochody a možné vznikající produkty
- Definice mechanických a fyzikálních vlastností korozivzdorné oceli
- Posouzení strukturní stability oceli při dlouhodobém provozu
- Určení mezních podmínek pro iniciaci možných korozních napadení včetně vyhodnocení životnosti a bezpečnosti daného zařízení
- Zohlednění dostupnosti daného materiálu a kalkulace výsledné ceny [5]

6.1 Volba korozivzdorné oceli vzhledem k pracovnímu prostředí

Důležitým faktorem z hlediska správné volby materiálu, ať už hovoříme o konkrétních ocelích či obecně o materiálech, je zohlednění a přizpůsobení se pracovnímu prostředí. Vyvíječ čisté páry pracuje s několika provozními činiteli, stěžejním médiem je zde vodní pára, voda a v neposlední řadě atmosféra. [3]

6.1.1 Vodní pára

Vodní pára je tvořena vodíkem a kyslíkem, tyto sloučeniny působí na železo oxidačně. Rychlost oxidace je do teplot 200 až 250 °C z hlediska vzniku koroze téměř nevýznamná. Martenzitické chromové oceli i oceli feritické s obsahy Cr 13 až 17 % vykazují v přítomnosti suché vodní páry dobrou odolnost. V porovnání s chromniklovými austenitickými oceli je však tato odolnost horší. Použitelnost martenzitických a feritických ocelí se uvádí do 650 °C, u ocelí austenitických až do teploty 750 °C při korozní rychlosti do 3 μm za rok. [3]

Ve vodní páře lze počítat i s nečistotami. Mezi nejdůležitější nečistoty patří zejména kyslík a plyny, které jsou agresivnější než voda, např. CO₂ či Cl. Korozní rychlost je těmito plyny nepatrně zvyšována. Další urychlení koroze v prostředí vodní páry způsobují kapičky vody obsažené v syté nebo mokré páře, projevují se převážně porušením ochranné pasivační vrstvy jejím vyšleháním při vysokých rychlostech média a v potrubí v místech změny směru proudění. [3]

6.1.2 Voda

Pod pojmem voda si většina lidí představí čistou sloučeninu H₂O, ve smyslu korozního prostředí však hovoříme též o nejrůznějších slabě koncentrovaných vodných roztocích s obsahem různých látek či o demineralizované vodě. Čistá voda bez příměsí má podíl na šíření koroze takřka nulový. Agresivita vody je způsobena zejména obsahem kyslíku, ale i dalšími agresivními plyny, přítomností rozpuštěných solí, výskytem organických látek a mikroorganismů. Nesmíme opomíjet ani závislost na teplotě vody, pH vody či rychlosti proudění dané kapaliny. Kyslík působí v kapalině jako stimulátor koroze, ve vodách většinou

probíhá kyslíková depolarizace. Při dostatečném množství může naopak korozi omezovat tvorbou ochranných vrstev na povrchu. Další důležitou složkou ovlivňující agresivitu vody je oxid uhličitý. Způsobuje pokles pH, jenž může mít za následek přítomnost dalších druhů depolarizací kromě kyslíkové. Chloridy přítomné ve vodě způsobují u korozivzdorných ocelí vznik bodové a štěrbinové koroze, při vyšších teplotách až korozní praskání. [3]

Hodnota pH je důležitým aspektem při zachování pasivního stavu korozivzdorné oceli, optimální hodnota pH pro udržení pasivního stavu je mezi 7,2 až 7,8. Pasivní stav je navíc porušován např. zvýšením pracovní teploty nad dovolenou mez či kontaktem nerezové oceli s méně ušlechtilým kovem. Obecně lze říci, že voda z vodovodu s různými příměsi je v kontaktu s korozivzdornou ocelí neškodná do teploty 60 °C při obsahu chloridu do 100 ppm, což představuje 0,01 % objemu. Při vyšších obsazích chloridu je doporučeno použití korozivzdorné oceli legované molybdenem, s přihlédnutím na vyvarování se štěrbin a míst s omezeným prouděním kapaliny. [3]

Vybrané typy odolné vůči chloridům:

- Austenitická Cr-Ni ocel dle DIN 1.4301, odpovídající dle ČSN oceli 17 240
- Austenitická Cr-Ni ocel s molybdenem dle DIN 1.4401, odpovídající dle ČSN 17 346 [8]

6.1.3 Atmosféra

Vliv atmosféry na vznik koroze u korozivzdorných ocelí je téměř zanedbatelný. Porovnáme-li odolnost austenitické Cr-Ni oceli s oceli martenzitickými či feritickými, zjistíme nepatrné rozdíly v odolnosti. Austenitická ocel je doporučována pro vnější atmosférické podmínky, zatímco pro vnitřní použití lze doporučit i oceli chromové, zpravidla s 17 % Cr. V prostředí atmosféry je důležitým faktorem vlhkost, která vede ke vzniku elektrochemické koroze. O vzniku elektrochemické koroze hovoříme zejména v případě, je-li korozivzdorná ocel v kontaktu s méně odolnými kovy typu uhlíkových ocelí či zinku. Výjimkou je např. kombinace nerezavějící oceli s hliníkem. Při této kombinaci koroze nenastane, ba naopak oba materiály na sebe vzájemně působí jako faktory k tvorbě pasivních vrstev. [3]

K vybraným korozivzdorným ocelím mající výborné korozní vlastnosti v prostředí atmosféry patří:

- Austenitické Cr-Ni oceli DIN 1.4301 (dle ČSN 17 240) a DIN 1.4541 (17 248) vhodné pro vnější i vnitřní atmosféru
- Cr-Ni-Mo oceli DIN 1.4401 (17 346) a DIN 1.4571 (17 348) vyhovující i v atmosféře obsahující chloridy
- Cr ocel DIN 1.4016 (17 040) mající horší vlastnosti než výše zmíněné, přednostně používaná ve vnitřních prostorech [8]

6.2 Volba materiálů pro vyvíječ čisté páry

Norma ČSN EN 285+A2 uvádí, že materiál, který je v kontaktu s párou, musí být odolný nejen vůči páře, ale i vůči jejímu kondenzátu. Dalším požadavkem této normy je zachování kvality páry, přičemž se nesmí z materiálu vylučovat jedovaté látky, jež by ohrožovaly zdraví a životní prostředí. Volbu kovových materiálů, z nichž je nově vyvinutý vyvíječ čisté páry s deskovým výměníkem vyroben, včetně použitých technologií, ovlivňuje

zejména pracovní prostředí, kterému bude v praxi dlouhodobě vystaven. V uvažovaném případě se jedná zejména o přetlak ve vyvíječi 0,7 MPa, působení demineralizované vody a čisté páry s pracovními teplotami do 200 °C. [6, 14]

Korozní účinky vlivem působení demineralizované vody a čisté páry urychluje, jak bylo uvedeno výše, především přítomnost volného kyslíku a oxidu uhličitého. V neposlední řadě musí být přihlédnuto i k možnému znečištění napájecí vody či jejího kondenzátu chloridovými ionty. Materiály by měly dostatečně splňovat podmínku pasivace. Tento fakt je nutno brát v potaz u konstrukce všech dílů parního sterilizátoru. Z tohoto důvodu bylo při návrhu materiálu na konstrukci parního sterilizátoru použito určitého typu korozivzdorné oceli optimálním možným řešením z hlediska uvedených požadavků včetně životnosti, bezpečnosti a ekologie provozu. Při výběru vhodných ocelí pro výrobu jednotlivých dílců vyvíječe čisté páry s deskovým výměníkem, včetně jejich montáže, byla zohledňována zvláště jejich korozivzdornost, svařitelnost a obrobitelnost. [3]

V tabulce 1 až 3, která je přílohou této práce, jsou uvedeny vybrané korozivzdorné oceli s chemickým složením, mechanickými a technologickými vlastnostmi se zaměřením na pracovní podmínky parního sterilizátoru. V tabulce 4a, b, c je popsána korozní odolnost a vhodnost použití vybraných ocelí, o nichž lze v souladu s funkčností pro daný účel konstrukce parního sterilizátoru uvažovat. V tabulkách přílohy jsou tyto oceli vyznačeny tučným písmem resp. zvýrazněny žlutou barvou.

Z připadajících možností byla jako adekvátní možná varianta zvolena:

- **Korozivzdorná austenitická Cr-Ni ocel jakosti dle ČSN 41 72 40 typu 17 240.4** s ekvivalenty: Nr.1.4301, X5CrNi 18 10 dle DIN a 304 dle ASTM AISI.

Tato ocel má směrné chemické složení max. 0,07 % C, 17 až 19 % Cr a 8 až 10,5 % Ni. Jedná se o nestabilizovanou austenitickou korozivzdornou ocel typu 18/10 vhodnou pro prostředí oxidační povahy za normálních i zvýšených pracovních teplot až do 650 °C. Vykazuje výborné technologické vlastnosti a je bezpodmínečně nutné, aby tato ocel byla použita ve stavu po rozpouštěcím žíhání. Ocel je vhodná i pro prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu, tj. ve zdravotnictví a ve farmaceutickém i potravinářském průmyslu.

V praxi se mnohdy stává, že námi navržený typ materiálu není vždy dostupný ve všech variantách komponent potřebných pro výrobu zařízení (trubky, kolena apod.). Z tohoto důvodu je nutno uvažovat i o alternativní jakosti oceli (mnohdy cenově dražší), která bude splňovat dané požadavky.

Alternativní jakosti pro součásti zařízení:

- Korozivzdorná austenitická Cr-Ni ocel nestabilizovaná dle ČSN jakosti 17 249
- Korozivzdorná austenitická Cr-Ni-Ti ocel stabilizovaná dle ČSN jakosti 17 248 (viz příloha)

7 Závěr

Koroze je jev, který postihuje téměř všechny druhy technických kovů, ale i materiály z oblasti stavebnictví či plastů. V praxi je nutno této problematice věnovat pozornost. Při špatné volbě materiálu bez přihlédnutí k možným rizikům lze očekávat, že dříve či později koroze nastane. Ani výběr korozivzdorné oceli není vždy jistotou stoprocentní odolnosti. V mnoha případech se i u těchto ocelí setkáváme buďto s bodovou (důlkovou) či štěrbinovou korozí, v horších případech pak s korozi mezikrystalovou či dokonce korozním praskáním.

Korozivzdorné oceli jsou typické především množstvím legujících prvků. Za primární leguru je považován chrom, jehož minimální obsah 12 % v matrici oceli je hlavní podmínkou pro schopnost pasivace oceli. Tato pasivace zajišťuje odolnost proti elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Dalšími důležitými legujícími prvky v korozivzdorných ocelích jsou nikl a molybden, které dále zvyšují celkovou korozní odolnost oceli a jsou odolné vůči většině se vyskytujícím druhům koroze. Kombinací těchto tří přísad, případně i s přísadkou méně významných legur, se při vhodném obsahu uhlíku dosahuje požadovaných mechanických, technologických a zvláště protikorozních vlastností zabraňujících degradaci kovů ve specifických prostředích.

Nerezavějící oceli lze hodnotit pomocí tří kritérií, a to dle chemického složení, struktury a nutnosti tepelného zpracování. Korozivzdorná austenitická Cr-Ni ocel jakosti dle ČSN 41 72 40 typu 17 240.4, jež byla vybrána jako adekvátní, je tvořena nestabilizovanou austenitickou strukturou, která jeví výborné vlastnosti z hlediska korozivzdornosti a svařitelnosti. Odolnost vůči mezikrystalové korozi je zajištěna vhodnou kombinací chromu a niklu v poměru 18/10 a velmi nízkým množstvím uhlíku. Tyto dva faktory jsou ještě podpořeny rozpouštěcím žíháním, jež tuto odolnost zvyšuje. Tato jakost je vhodná pro zařízení vyžadující vysokou čistotu produktu, což vyvíječ čisté páry bezesporu je. Jako alternativní korozivzdorné oceli byly zvoleny jakosti dle ČSN 17 249 resp. 17 248, tyto oceli jsou austenitické Cr-Ni. V případě oceli 17 248 pak hovoříme o oceli stabilizované Ti.

Použité informační zdroje

- [1] BARTONÍČEK, R. a kol. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1966, 719 s.
- [2] ČERNÝ, M. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 264 s.
- [3] ČÍHAL, V. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1. vyd. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 80-200-0671-0.
- [4] FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T. *Konstrukční oceli*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996, 267 s. ISBN 80-85867-95-8.
- [5] PTAČEK, L. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [6] Projekt FR-TI 3/151: *Výzkum a vývoj vyvíječe čisté páry s deskovým výměníkem – závěrečná zpráva*, spol. ESL Brno, FSI a FEKT VUT, IncestCorp spol. s r.o., Brno, únor 2014.
- [7] TULKA, J. *Povrchové úpravy materiálů*. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005, 136 s. ISBN 80-214-3062-1.
- [8] ROBERGE, R. PIEREE. *Handbook of corrosion engineering*. USA: McGraw-Hill, 1999, 1129 s. ISBN 0-07-076516-2.
- [9] NOVÁK, P. *Multimediální výukový projekt: Korozní inženýrství*. [online]. [cit. 2014-2-16]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/index.htm
- [10] HAVELKA, K. *Základy korozních dějů: Určeno pro posl. fak. strojní*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1968, 130 s.
- [11] PLUHAŘ, J. *Nauka o materiálech*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 552 s.
- [12] KOCICH, J., TULEJA, S. *Korózia a ochrana kovov*. 4. dopl. vyd. Košice: Technická univerzita, 1998, 175 s. ISBN 80-7099-393-6.
- [13] EURO INOX. *Korozivzdorné oceli - vlastnosti*. Euro Inox, 241, route d'Arlon, 1150 Lucembursko, 2002, Překlad z: Stainless Steel Properties. ISBN 2-87997-082-2.
- [14] ČSN EN 285+A2 (847108). *A Sterilizace - Parní sterilizátory - Velké sterilizátory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 80 s.
- [15] TULKA, J. *Koroze a stárnutí materiálu – přednáška*. [online]. [cit. 2014-2-12]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/bum/prednasky/12-BUM%20-%20koroze%20a%20starnuti.pdf>

- [16] PACAL, B., NĚMCOVÁ, A. *Korozní zkoušení kovových materiálů*, [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/oporakoroze4/Index.html>
- [17] Wikipedia. *Koroze*. [online]. [cit. 2014-1-28]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze>
- [18] NĚMEC, K. *Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli - přednáška*. [online]. [cit. 2014-2-10]. Dostupné z:
http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/06%20-%20Korozivzdorne%20a%20zaruvzdorne%20oceli.ppt

Seznam použitých obrázků

<i>Obr. 1: Formy porušení oxidické vrstvy: a) odlupování (vznik „puchýře“), b) praskání, c) mikropóry v povlaku, d) „lom“ odchlípnutí povlaku e) nízká koheze způsobující štěpení, f) trhlinka na hraně oxidické vrstvy. [15].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2: Rovnovážný potenciál kovů. [9]</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3: Vybrané typy korozních napadení. [9]</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4: Schéma rovnoměrné koroze: 1) původní povrch 2) povrch po zkorodování. [16].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 5: Bodová koroze austenitické korozivzdorné oceli v prostředí chloridů. [9].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 6: Porovnání bodové ($d < L$) a důlkové koroze ($d > L$). [15]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 7: Štěrbinová koroze nýtového spoje jev: a) rozdílné odvědušnění v ústí přístupu kyslíku, koroze uvnitř b) různé koncentrace iontů kovu uvnitř štěrbin, koroze vně. [3]</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 8: Mezikrystalová koroze u korozivzdorné austenitické oceli. [17]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 9: Transkrystalické korozní praskání.[9]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 10: Korozní únava nástrojové oceli. [9].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 11: Vertikální řezy diagramem Fe-C-Cr, při obsazích Cr 12 % Cr (vlevo), 15 % Cr, 20 % Cr. [18]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 12: Vliv chromu a niklu na mezní stav uhlíku pro předcházení MKK. [4].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 13: Schaefflerův diagram korozivzdorných ocelí. [18]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 14: Vliv teploty v závislosti na množství uhlíku a výsledné tvrdosti martenzitických korozivzdorných ocelí. [4].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 15: Vliv popouštěcí teploty na výslednou pevnost F-M ocelí. [4]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 16: Porovnání mechanických vlastností austenitické oceli s A-F ocelí žíhanou a vytvrzenou. [3]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 17: Schéma zařízení parního sterilizátoru [6].....</i>	<i>32</i>

Seznam příloh

PŘÍLOHA I: Tab. 1: Chemické složení vybraných typů korozivzdorných ocelí
Tab. 2: Mechanické vlastnosti vybraných typů korozivzdorných ocelí
Tab. 3: Porovnání užitečných vlastností vybraných typů korozivzdorných ocelí
PŘÍLOHA II: Tab.4a: Výběr Cr korozivzdorných oceli pro prostředí páry
Tab.4b: Výběr Cr-Ni korozivzdorných ocelí pro prostředí páry
Tab.4c: Výběr Cr-Ni-Mo korozivzdorných ocelí pro prostředí páry